

- [5]. De Blok K.,(2008). Low operating temperature integral thermoacoustic devices for solar cooling and waste heat recovery. *Paris, Acoustic-2008, Inter. Conf. 2008. 18–24.*
- [6]. Korobko V.V.(2014). *Mozhly`vi shlyaxy` vy`kory`stannya termoakustychny`x teplovy`x mashyn v sy`stemax SEU. [Possible ways of using thermoacoustic heaters in SPP systems]. Naukovy`j visny`k Xersons`koyi derzhavnoyi mors`koyi akademiyi, 2 (11), 69-76.*
- [7]. Korobko V.V. (2016) *Analiz vplyvu konstruktsiyi teploobminnykiv na kharakterystyky nyz'kotemperaturnykh termoakustychnykh ustanovok. [Analysis of the influence of the design of heat exchangers on the characteristics of low temperature thermoacoustic installations]. Avyatsyonno - kosmycheskaya tekhnika y tekhnolohyya. 8 (135), 5-10.*
- [8]. De Blok, K. *Acoustic to electric power conversion [Електронний ресурс] K. De Blok, P. Owczarek, M. Francois. – Режим доступу: <http://www.aster-thermoacoustics.com/>. – 08.06.2019.*
- [9]. Korobko, V.V., Moskovko, O.O., Mostipanenکو, H.B., Serbin, S.I.,(2017). *Doslidzhennya roboty` impulsnoyi dvonapravlenoyi turbiny` v rezonatori termoakustychnogo dvyguna [Investigation of the operation of the pulse bi-directional turbine in the resonator of the thermoacoustic engine]. Aerospace - Space technology and technology, , 8(143), 19–25.*
- [10]. Bejan A. (1996). *Entropy generation minimization. The new thermodynamics of finite-size device and finite-time processes. J. Appl. Phys., 79(3): 1191-1218*
- [11]. *INSTALLATION INSTRUCTIONS & CONCEPT GUIDANCE, W12X92DF, Net GD, <https://www.wingd.com/en/engines/engine-types/x-df-dual-fuel/x92df/>*

Korobko V.V

EFFICIENCY OF ENERGY PLANTS

DUE TO DISPOSAL OF HEAT BY THERMOACOUSTIC TECHNOLOGIES

The work is devoted to the problem of utilization of low-temperature thermal emissions of modern power plants. It is shown that solving this problem is possible by introducing energy-generating thermoacoustic energy saving systems. The questions of increase of their efficiency are considered, the expediency of their use in ship energy, industry is confirmed.

Key words: energy saving; power plants; thermoacoustic technology

Korobko B.B.,

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК С УТИЛИЗАЦИЕЙ ТЕПЛОТЫ ТЕРМОАКУСТИЧЕСКИМИ ТЕХНОЛОГИЯМИ

Работа посвящена проблеме утилизации низкотемпературных тепловых выбросов современных энергетических установок. Показано, что решение этой проблемы возможно путем внедрения энергогенерирующих термоакустических систем энергосбережения. Рассмотрены вопросы повышения их эффективности, подтвержденная целесообразность их использования в судовой энергетике, промышленности.

Ключевые слова: энергосбережение; энергетические установки; термоакустические технологии.

УДК 621.436.13

АНАЛІЗ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ ПОРШНІВ ДИЗЕЛЬНИХ ДВИГУНІВ RT-FLEX 96С ФІРМИ WARTSILA

Савчук В.П. к.т.н, доцент¹, **Білоусов Є.В.**, к.т.н., доцент²,
Зінченко Д.О., к.т.н., доцент³, **Дзигар А.К.**, старший викладач⁴

Херсонська державна морська академія

Україна, Херсон

¹postsavchuk@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-5266-850X>,

²ewbelousov67@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-8185-8209>, ³zinchenko010@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-7333-7347>,

⁴anatoliidzygar@gmail.com

Анотація. *Представлено результати моделювання впливу експлуатаційних факторів на розподіл напружень та деформацій в матеріалі складної форми поршнів сучасних малообертових двигунів виробництва фірми Wartsila серії RT-flex 96С. Приведено епюри розподілу напружено-деформованого стану деталей поршнів при номінальному режимі навантаження двигунів.*

Ключові слова: *поршень; напружено-деформований стан; твердотільна модель; критерій фон Мізеса; відносна деформація*

Вступ. Поршні сучасних двигунів внутрішнього згоряння є найбільш напруженими елементами, на які діють сили різної природи. Існує безліч науково-дослідних робіт, що направлено на вдосконалення геометрії, матеріалів та технологій їх виготовлення. Однак на сьогодні існує безліч факторів, що впливають на зміну технічного стану деталей поршневої групи малооберткових ДВЗ. Механізми пошкодження мають різну природу та найбільш вагомими серед них є чинники, що пов'язані із впливом теплових та механічних навантажень. Враховуючи складність конструкції поршнів сучасних МОД виробництва Wartsila, найбільш досконалим методом дослідження їх напружено-деформованого стану (НДС) є метод скінчених елементів (МСЕ).

Основна частина. Для дослідження напружено-деформованого стану поршня двигунів дизель-генераторів, нами розроблено його спрощену твердотільну модель (рис. 1). У якості вихідних параметрів приймаємо дані, що приведено в [1].

В якості матеріалу днища поршня використовується спеціальної термообробленої легованої сталі із наступними фізико-механічними властивостями [2]:

- модуль пружності $E = 210$ ГПа;
- коефіцієнт Пуассона $\mu = 0,28$;
- межа міцності на розрив $\sigma_b = 723,8$ МПа;
- межа текучості $\sigma_T = 620,4$ МПа.

Пропоновану модель за допомогою програмного комплексу SolidWorks [3] розділено на скінчені елементи формою тетраедру. Показники сітки приведено у табл. 1. При дослідженні напруженого стану нами використовувалась схема навантаження, що імітує режим роботи поршня в циліндрі двигуна. Для проведення спрощення процесу розрахунку, було використано половину досліджуваного поршня, застосувавши опцію «симетрія» для деталей, що мають симетричну форму.

Фіксація поршня здійснювалась в отворах для установки поршневого пальця. При цьому використовувались кріплення деталі типу «опора підшипника».

Було здійснено імітацію навантаження за рахунок створення максимального тиску згоряння $p_z = 14,2$ МПа, що рівномірно діє на днище поршня.

Таблиця 1 – Параметри сітки скінчених елементів розрахунку

Показник	Значення
Тип сітки	Сітка на твердому тілі
Точки Якобіана	4 точки
Розмір елемента, мм	10,6428
Кількість вузлів	47988
Кількість елементів	28562
Максимальне співвідношення сторін	36,295



Рисунок 1 – Твердотільна модель головки поршня двигуна Wartsila RT-flex96C

В результаті проведених розрахунків було встановлено, що максимальні сумарні напруження за критерієм фон Мізеса становлять 178,7 МПа, які спостерігаються в зоні контакту опорної поверхні днища поршня із юбкою

(рис. 2). Загалом еюра розподілу напружень по іншій частині поршня демонструє рівномірне розподілення напружень по днищу поршня (в середньому 90...120 МПа) та по його бічній поверхні (10...15 МПа).

З метою детального визначення найбільш навантажених ділянок поршня було застосовано інструмент еюри «обмеження ISO». Це надає можливості виділити ділянки деталі в деяких межах напружень. В даному випадку встановлено мінімальну межу напружень 40 МПа. Еюра із напруженнями, що перевищують вказане значення представлено на рис. 3.

Розрахунок показників відносних деформацій матеріалів головки та спідниці поршня представлено також у вигляді еюри розподілу вказаного показника. Картина розподілу відносних деформацій матеріалів добре узгоджується із еюрою розподілу сумарних напружень (рис. 4). Максимальне значення відносної деформації становить $77,67 \cdot 10^{-3}$, що також сконцентровано в місці контакту головки та штоку поршня. Даний ефект можливо описати як крайовий та не здійснює впливу на не впливає на міцність поршня вцілому.

Проведений розрахунок переміщень елементів днища поршня під впливом тиску газів вказує на наявність максимального переміщення центру поршня на величину 0,55 мм, що не є критичним (рис. 5). Інша частина головки поршня демонструє однорідність значень, які складають не більше, ніж 0,20 мм.

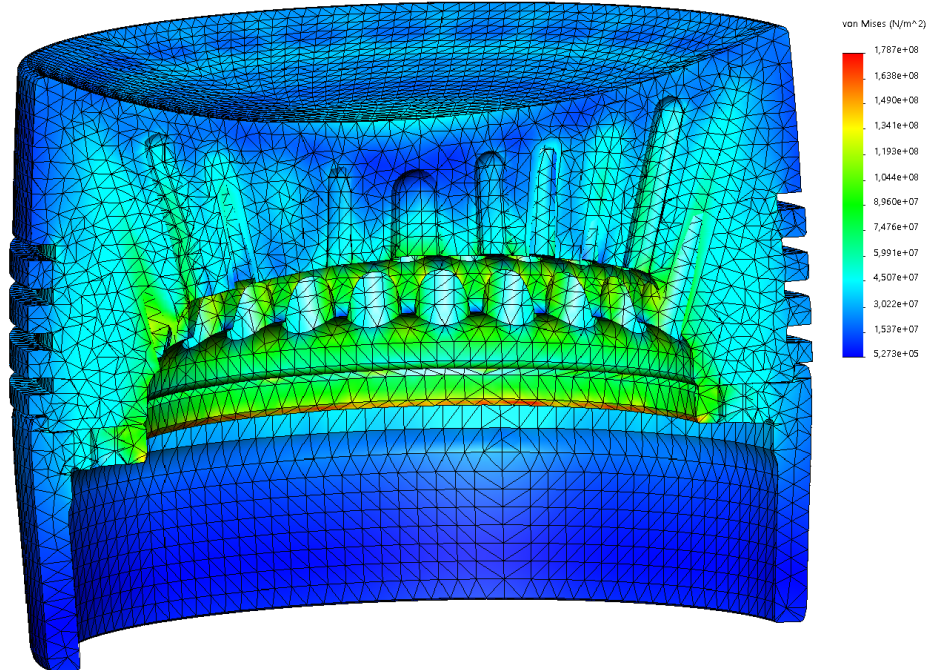


Рис. 2 – Еюри розподілу напружень

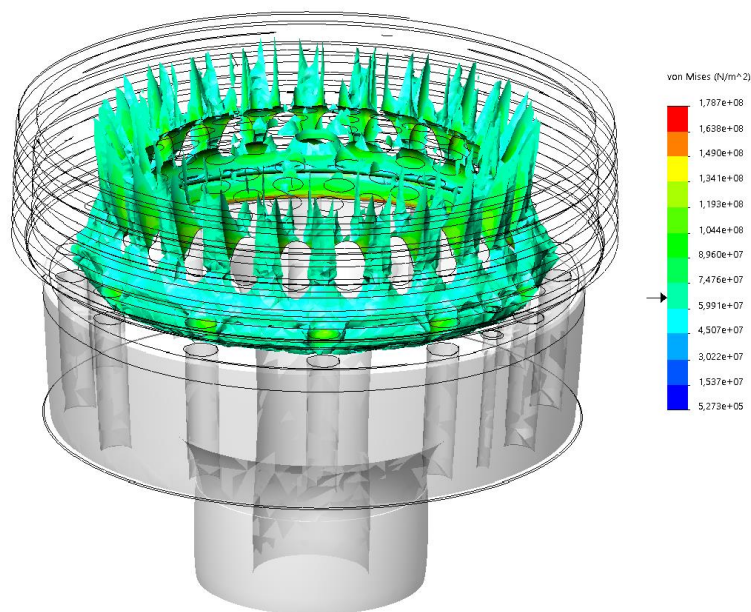


Рис. 3 – Еюра ізоповерхонь головки поршня, напруження яких перевищує 70 МПа

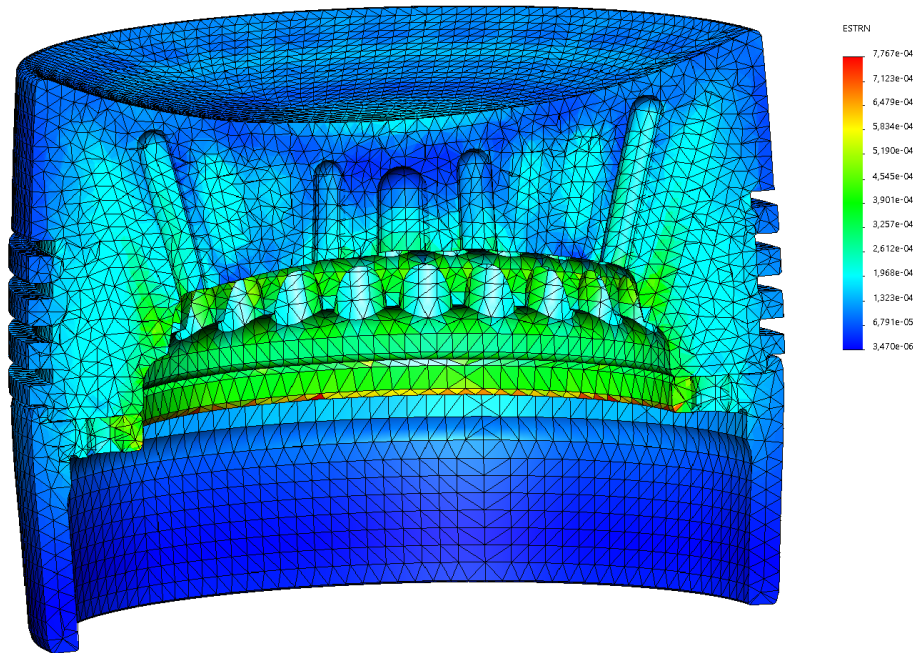


Рис. 4 – Епюра розподілу відносної деформації матеріалів головки та спідниці поршня

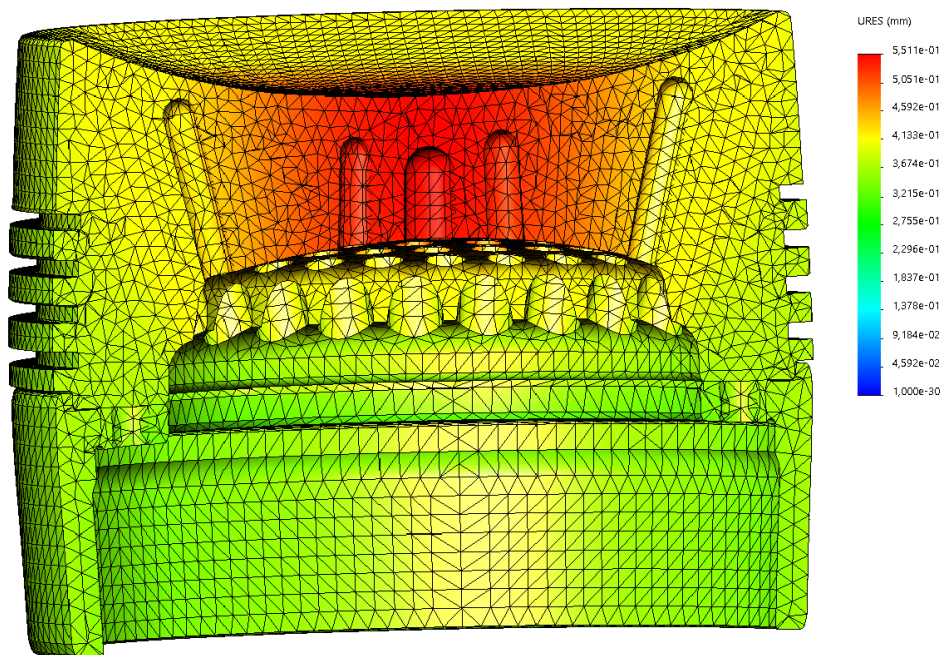


Рис. 5 – Епюра переміщень

Висновки. Розроблена твердотільна модель поршня надає можливості проведення аналізу напружено-деформованого стану в його матеріалах під впливом експлуатаційних навантажень за допомогою сучасних CAD/CAE комплексів.

Проведене дослідження напружено-деформованого стану поршня дизельного двигуна Wartsila серії RT-flex96C при номінальному режимі навантаження (максимальний тиск згоряння $p_2 = 14,2$ МПа) вказує на наявність запасу міцності:

- максимальні сумарні напруження (за критерієм фон Мізеса) в матеріалі поршня сконцентровано в його голівці і складають не більше 178,7 МПа. Найбільш навантаженими елементами головки поршня є її внутрішня поверхня;
- максимальні переміщення становлять 0,55 мм.

ЛІТЕРАТУРА

- [1] Sulzer RT-flex: Operation manual. (2004). Wärtsilä Switzerland Ltd.
 [2] Возницкий И.В.(2008) Судовые двигатели внутреннего сгорания, том 1: М. Моркнига.
 [3] Алямовский А.А. (2015). SolidWorks Simulation. Инженерный анализ для профессионалов: задачи, методы, рекомендации. ДМК Пресс.

Savchuk V.P., Belousov E.V., Zinchenko D.A., Dzigar A.K.

Analysis of the stress-strain state of pistons of diesel engines RT-flex 96C by Wartsila

The results of modeling the influence of operational factors on the distribution of stresses and strains in a complex piston material of modern low-speed engines manufactured by Wartsila RT-flex 96C series are presented. Plots of the distribution of the stress-strain state of the piston parts at the rated load conditions of the engines are presented.

Keywords: piston; stress-strain state; solid state model; von Mises criterion; relative deformation

Савчук В.П., Белоусов Е.В., Зинченко Д.О., Дзыгар А.К.

Анализ напряженно-деформированного состояния поршней дизельных двигателей RT-flex 96C фирмы Wartsila

Представлены результаты моделирования влияния эксплуатационных факторов на распределение напряжений и деформаций в материале сложной формы поршней современных малооборотных двигателей производства фирмы Wartsila серии RT-flex 96C. Приведены эпюры распределения напряженно-деформированного состояния деталей поршней при номинальном режиме нагрузки двигателей.

Ключевые слова: поршень; напряженно-деформированное состояние; твердотельная модель; критерий фон Мизеса; относительная деформация

УДК 621.181.27 (075.8)

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОЦЕССОВ ТЕПЛОПЕРЕДАЧИ В ТЕПЛООБМЕННЫХ АППАРАТАХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК

Кузнецов В.В., канд. техн. наук, доцент

Национальный университет кораблестроения имени адмирала Макарова
 Украина, г. Николаев
 ORCID 0000-0002-3678-595X

Аннотація. Існує достатня кількість показників для оцінки ефективності тепловіддачі в теплообмінних апаратах. Запропоновано модифікований показник ефективності теплопередачі, який дозволяє обґрунтувати способи інтенсифікації для досягнення максимальної теплової ефективності апарата.

Ключові слова: теплообмінний апарат; теплопередача; ефективність; показник.

Постановка проблеми Актуальною проблемою в енергетических установках являється зниження масогабаритних показателів їх теплообмінних апаратів. Одним из путей решения этой проблемы является интенсификация теплопередачи.

Для оценки эффективности теплопередачи в теплообменных аппаратах предложено ряд показателей.

Эти показатели можно разделить на показатели эффективности теплообменных аппаратов в целом и их теплообменных поверхностей в частности.

Показатели эффективности теплообменных аппаратов в большинстве случаев основаны на универсальном критерии Кирпичева [1]

$$E_k = \frac{Q}{A_{\Pi}}, \quad (1)$$

который определяется отношением передаваемого теплового потока Q к работе на прокачку теплоносителей A_{Π} . Вариации этого критерия возможны за счет использования в числителе уравнения (1) количества передаваемой теплоты по горячему либо холодному теплоносителю, а в знаменателе – суммарной мощности, затрачиваемой на прокачку обоих теплоносителей либо каждого по отдельности. Предложенный критерий целесообразно использовать после окончательной компоновки теплообменного аппарата, и достаточно затруднительно на этапе выбора способа интенсификации теплоотдачи.

Для оценки эффективности теплоотдачи поверхности теплообмена в [1] предлагается использовать энергетический критерий

$$\eta_{\text{эн}} = \alpha / \delta P, \quad (2)$$